

Rec'd PCT/PTO 15 NOV 2004

PCT/DE03/01378 #2

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND 10/514428

**PRIORITY
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)



REC'D 04 JUL 2003

WIPO

PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen:

102 21 639.8

Anmeldetag:

15. Mai 2002

Anmelder/Inhaber:

Siemens Aktiengesellschaft, München/DE

Bezeichnung:

Einrichtung der Supraleitungstechnik mit einem
supraleitenden Magneten und einer Kälteeinheit

IPC:

H 01 F 6/04

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 16. Mai 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Wallner

Beschreibung

Einrichtung der Supraleitungstechnik mit einem supraleitenden Magneten und einer Kälteeinheit

5

Die Erfindung bezieht sich auf eine Einrichtung der Supraleitungstechnik

- mit einem Magneten, der mindestens eine supraleitfähige, kältemittelfreie Wicklung enthält,
- 10 - mit einer Kälteeinheit, die mindestens einen Kaltkopf aufweist,

und

- mit Mitteln zur thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf.

15

Entsprechende Einrichtungen der Supraleitungstechnik gehen z.B. aus „Proc. 16th Int. Cryog. Engng. Conf. [ICEC 16]“, Kitakyushu, JP, 20. 24.05.1996, Verlag Elsevier Science, 1997, Seiten 1109 bis 1132 hervor.

20

Neben den seit langem bekannten metallischen Supraleitermaterialien wie z.B. NbTi oder Nb₃Sn, die sehr niedrige Sprungtemperaturen T_c besitzen und deshalb auch als Niedrig(Low)- T_c -Supraleitermaterialien oder LTS-Materialien bezeichnet werden, kennt man seit 1987 metalloxidische Supraleitermaterialien mit Sprungtemperaturen T_c von über 77 K. Letztere Materialien werden auch als Hoch(High)- T_c -Supraleitermaterialien oder HTS-Materialien bezeichnet.

25

Mit Leitern unter Verwendung solcher HTS-Materialien versucht man auch, supraleitende Magnetwicklungen zu erstellen. Wegen ihrer bislang noch verhältnismäßig geringen Stromtragfähigkeit in Magnetfeldern, insbesondere mit Induktionen im Tesla-Bereich, werden vielfach die Leiter solcher Wicklungen trotz der an sich hohen Sprungtemperaturen T_c der verwendeten Materialien dennoch auf einem unterhalb von 77 K liegenden Temperaturniveau, beispielsweise zwischen 10 und 50 K gehalten, um

30
35

so bei höheren Feldstärken wie z.B. von einigen Tesla nennenswerte Ströme tragen zu können.

5 Zur Kühlung von Wicklungen mit HTS-Leitern kommen in dem genannten Temperaturbereich bevorzugt Kälteeinheiten in Form von sogenannten Kryokühlern mit geschlossenem Helium-Druckgaskreislauf zum Einsatz. Solche Kryokühler sind insbesondere vom Typ Gifford-McMahon oder Stirling oder sind als sogenannte Pulsröhrenkühler ausgebildet. Entsprechende Kälteeinheiten
10 haben zudem den Vorteil, dass die Kälteleistung quasi auf Knopfdruck zur Verfügung steht und dem Anwender die Handhabung von tiefkalten Flüssigkeiten erspart wird. Bei einer Verwendung solcher Kälteeinheiten wird z.B. eine supraleitende Magnetspulenwicklung nur durch Wärmeleitung zu einem Kaltkopf eines Refrigerators indirekt gekühlt, ist also kältemittelfrei (vgl. auch die genannte Textstelle aus ICEC 16).

Die Kühlung supraleitender Magnetsysteme insbesondere von MRI (Magnetresonance Imaging)-Anlagen ist derzeit bei heliumgekühlten Magneten in der Regel als Badkühlung ausgeführt
20 (vgl. US 6,246,308 B1). Hierfür ist als Vorrat eine vergleichsweise große Menge an flüssigem Helium erforderlich, beispielsweise einige 100 Liter. Dieser Vorrat führt in einem Quenchfall des Magneten, d.h. bei einem Übergang von zunächst supraleitenden Teilen seiner Wicklung in den normalleitenden Zustand, zu einem unerwünschten Druckaufbau in einem erforderlichen Kryostaten.

Bei LTS-Magneten wurden bereits Refrigerator-Kühlungen unter
30 Verwendung von gut-wärmeleitenden Verbindungen wie z.B. in Form von gegebenenfalls auch flexibel ausgeführten Cu-Rohren zwischen einem Kaltkopf einer entsprechenden Kälteeinheit und der supraleitenden Wicklung des Magneten realisiert (vgl. die genannte Literaturstelle aus ICEC 16, insbesondere Seiten
35 1113 bis 1116). Je nach Abstand zwischen dem Kaltkopf und dem zu kühlenden Objekt führen dann aber die für eine gute thermische Ankopplung erforderlichen großen Querschnitte zu einer

beträchtlichen Vergrößerung der Kaltmasse. Insbesondere bei den in MRI-Anwendungen üblichen, räumlich ausgedehnten Magnetsystemen ist dies auf Grund der verlängerten Abkühlzeiten von Nachteil.

5

Statt einer solchen thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf über wärmeleitende Festkörper kann auch ein Leitungssystem vorgesehen sein, in dem ein He-Gasstrom zirkuliert (vgl. z.B. US 5,485,730).

10

15

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, eine Einrichtung der Supraleitungstechnik mit den eingangs genannten Merkmalen anzugeben, bei dem der Aufwand zur Kühlung einer supraleitenden Wicklung verringert ist.

20

25

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß mit den in Anspruch 1 angegebenen Maßnahmen gelöst. Demgemäß sollen die thermischen Ankopplungsmittel zwischen der mindestens einen Wicklung und dem mindestens einen Kaltkopf als ein Leitungssystem mit wenigstens einer Rohrleitung für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel ausgebildet sein. Unter einem Kaltkopf sei hierbei jede beliebige Kaltfläche einer Kälteeinheit verstanden, über die die Kälteleistung an das Kältemittel direkt oder indirekt abgegeben wird.

30

35

Ein derartiges Leitungssystem weist wenigstens eine geschlossene Rohrleitung auf, die zwischen dem Kaltkopf und der supraleitenden Wicklung mit einem Gefälle verläuft. Das Gefälle beträgt dabei zumindest in einigen Teilen der Rohrleitung im Allgemeinen mehr als $0,5^\circ$, vorzugsweise mehr als 1° gegenüber der Horizontalen. Das in dieser Rohrleitung befindliche Kältemittel rekondensiert an einer Kaltfläche der Kälteeinheit bzw. des Kaltkopfes und gelangt von dort in den Bereich der supraleitenden Wicklung, wo es sich erwärmt und dabei im Allgemeinen verdampft. Das so verdampfte Kältemittel strömt dann innerhalb der Rohrleitung wieder zurück in den Bereich der

Kaltfläche des Kaltkopfes. Die entsprechende Zirkulation des Kältemittels erfolgt demnach auf Grund eines sogenannten „Thermosyphon-Effektes“.

- 5 Durch die Verwendung eines solchen Thermosyphons (wie ein
entsprechendes Leitungssystem auch bezeichnet wird) zur Über-
tragung der Kälteleistung an die Wicklung wird die erforder-
liche umlaufende Menge des kryogenen Kältemittels im Ver-
gleich zu einer Badkühlung erheblich reduziert, beispielswei-
10 se um einen Faktor von etwa 100. Da außerdem die Flüssigkeit
nur in Rohrleitungen mit vergleichsweise kleinen Durchmes-
sern, die im Allgemeinen in der Größenordnung von wenigen
Zentimetern liegen, zirkuliert, ist der Druckaufbau in einem
Quenchfall ohne Probleme technisch beherrschbar. Neben den
15 Sicherheitsaspekten ist die Verringerung der Menge an flüssi-
gem Kältemittel im System, insbesondere bei einer Verwendung
von Helium oder Neon als Kältemittel, außerdem ein deutlicher
Kostenvorteil. Im Vergleich zu einer Kühlung mit wärmeleiten-
den Verbindungskörpern bietet ein Thermosyphon außerdem den
20 Vorteil einer guten thermischen Ankopplung unabhängig von der
räumlichen Entfernung zwischen dem Kaltkopf und dem zu kühl-
enden Objekt.

25 Vorteilhafte Ausgestaltungen der Einrichtung der Supralei-
tungstechnik nach der Erfindung gehen aus den abhängigen An-
sprüchen hervor.

- 30 So kann das Leitungssystem insbesondere zwei oder mehr Rohr-
leitungen aufweisen, die mit verschiedenen Kältemitteln mit
unterschiedlicher Kondensationstemperatur gefüllt sind. Damit
sind je nach Anforderung der Anwendung entsprechend abgestuf-
te Arbeitstemperaturen, z.B. für eine Vorkühlung, eine quasi
kontinuierliche thermische Ankopplung oder eine quasi konti-
nuierliche thermische Ankopplung durch überlappende Arbeits-
35 temperaturbereiche der Kältemittel möglich. Die Teilsysteme
können dabei entweder an einen gemeinsamen Kaltkopf oder auch

an getrennte Kaltköpfe einer Kälteeinheit thermisch angekoppelt sein.

Besonders vorteilhaft kann der supraleitende Magnet der Einrichtung eine Wicklung enthalten, die supraleitendes HTS-Material aufweist und insbesondere auch auf einer Temperatur unter 77 K zu halten ist. Selbstverständlich ist aber eine erfindungsgemäße Einrichtung der Supraleitungstechnik auch für LTS-Magnete auszulegen.

Weitere vorteilhafte Ausgestaltungen der erfindungsgemäßen Einrichtung gehen aus den vorstehend nicht angesprochenen abhängigen Ansprüchen hervor.

Nachfolgend werden bevorzugte Ausführungsbeispiele von Einrichtungen der Supraleitungstechnik nach der Erfindung an Hand der Zeichnung noch weiter erläutert. Dabei zeigen jeweils schematisch im Schnitt deren Figur 1 die Kühlung eines MRI-Magneten mit zwei Wicklungen und deren Figur 2 die Kühlung eines anderen MRI-Magneten mit vier Wicklungen.

Bei der in der Figur 1 allgemein mit 2 bezeichneten und nur in ihren für die Erfindung wesentlichen Details ausgeführten Einrichtung der Supraleitungstechnik kann es sich insbesondere um einen Teil einer MRI-Magnetanlage handeln. Dabei wird von an sich bekannten Ausführungsformen mit einem sogenannten C-Magneten ausgegangen (vgl. z.B. DE 198 13 211 C2 oder EP 0 616 230 A1). Diese Anlage enthält deshalb einen nicht näher ausgeführten, vorzugsweise supraleitenden Magneten 3 mit einer oberen, in einer horizontalen Ebene liegenden supraleitenden Wicklung 4a und einer dazu parallel angeordneten, unteren supraleitenden Wicklung 4b. Diese Wicklungen können insbesondere mit Leitern aus Hoch- T_c -Supraleitermaterial wie z.B. $(\text{Bi,Pb})_2\text{Sr}_2\text{Ca}_2\text{Cu}_3\text{O}_x$ erstellt sein, das aus Gründen einer

hohen Stromtragfähigkeit auf einer Betriebstemperatur unter 77 K gehalten werden kann. Die Wicklungen weisen eine Ring-Form auf. Sie sind jeweils in einem entsprechenden, nicht dargestellten Vakuumgehäuse untergebracht.

5 Die Kälteleistung zur Kühlung der Wicklungen 4a und 4b wird von einer nicht näher dargestellten Kälteeinheit mit wenigstens einem an ihrem kalten Ende befindlichen Kaltkopf 6 bereit gestellt. Dieser Kaltkopf weist eine auf einem vorbestimmten Temperaturniveau zu haltende Kaltfläche 7 auf oder ist mit dieser thermisch verbunden. An diese Kaltfläche ist thermisch der Innenraum einer Kondensorkammer 8 angekoppelt; beispielsweise bildet die Kaltfläche 7 eine Wand dieses Raumes. Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel ist der Innenraum dieser Kondensorkammer 8 in zwei Teilräume 9a und 9b unterteilt. An den (ersten) Teilraum 9a ist eine Rohrleitung 10a eines Rohrleitungssystems 10 angeschlossen. Diese Rohrleitung führt zunächst von dem Teilraum 9a in den Bereich der supraleitenden Wicklung 4a, wo sie mit der Wicklung in gut wärmeleitendem Kontakt steht. Beispielsweise führt die Rohrleitung 10a in spiralförmigen Windungen an der Innenseite der Wicklung entlang. Die Anbringung auf der Innenseite ist nicht zwingend; wichtig ist nur, dass die Rohrleitung mit permanentem Gefälle den gesamten Umfang der Wicklung erreicht und dort thermisch gut an die zu kühlenden Teile bzw. Leiter der Wicklung angekoppelt ist. Die Rohrleitung 10a schließt zumindest mit ihren wesentlichsten Teilen mit der Horizontalen h einen Gefälle-(oder Neigungs-)Winkel α von mehr als $0,5^\circ$, vorzugsweise mehr als 1° ein. So beträgt z.B. der Gefällwinkel α im Bereich der Wicklung 4a etwa 3° . Die Rohrleitung 10a führt dann in den Bereich der unteren Wicklung 4b, wo sie in entsprechender Weise angeordnet ist. Sie ist an ihrem Ende 11 abgeschlossen. Der das Kältemittel k_1 aufnehmende Querschnitt q der Rohrleitung 10a kann vorteilhaft klein gehalten werden und insbesondere unter 10 cm^2 liegen. Bei dem dargestellten Ausführungsbeispiel beträgt q etwa 2 cm^2 .

In der mit dem Gefälle verlegten Rohrleitung 10a befindet sich ein erstes Kältemittel k1, beispielsweise Neon (Ne). Das Kältemittel k1 zirkuliert dabei in der Rohrleitung 10a einschließlich dem damit verbundenen Teilraum 9a auf Grund eines an sich bekannten Thermosyphon-Effektes. Hierbei kondensiert das Kältemittel in dem Teilraum 9a an der Kaltfläche 7 und gelangt in flüssiger Form in den Bereich der supraleitenden Wicklungen. Dort erwärmt sich das Kältemittel, beispielsweise unter zumindest teilweiser Verdampfung, und strömt in der Rohrleitung 10a zurück in den Teilraum 9a, wo es rekondensiert wird.

Gemäß dem dargestellten Ausführungsbeispiel umfasst das Leitungssystem 10 eine zweite Rohrleitung 10b, die parallel zu der ersten Rohrleitung 10a führt und mit einem weiteren Kältemittel k2 gefüllt ist. Dieses Kältemittel ist von dem ersten Kältemittel k1 verschieden, d.h., es hat eine andere, vorzugsweise höhere Kondensationstemperatur. Beispielsweise wird für das Kältemittel k2 Stickstoff (N_2) gewählt. Die Rohrleitung 10b ist dabei an den (zweiten) Teilraum 9b der Kondensorkammer 8 angeschlossen. Das zweite Kältemittel k2 zirkuliert dabei ebenfalls auf Grund eines Thermosyphon-Effektes in der geschlossenen Rohrleitung 10b und dem Teilraum 9b. Bei einer Abkühlung der Magnetwicklungen wird dann zuerst das zweite Kältemittels k2 kondensiert, wobei die Wicklungen z.B. im Falle einer Verwendung von N_2 als Kältemittel k2 auf etwa 70 bis 80 K vorgekühlt werden können. Mit weiterer Abkühlung der Kaltfläche 7 kondensiert dann das erste, in der Rohrleitung 10a befindliche Kältemittel k1 mit der vergleichsweise niedrigeren Kondensationstemperatur und führt so zu einer weiteren Abkühlung auf die vorgesehene Betriebstemperatur von beispielsweise 20 K (bei Verwendung von Ne als erstem Kältemittel k1). Das zweite Kältemittel k2 kann bei dieser Betriebstemperatur im Bereich des Teilraums 9b ausgefroren sein.

Abweichend von dem in Figur 1 dargestellten Ausführungsbeispiel kann die erfindungsgemäße Einrichtung 2 der Supraleitungstechnik selbstverständlich auch nur ein Leitungssystem mit nur einer einzigen Rohrleitung aufweisen. Sieht man eine größere Anzahl von Rohrleitungen vor, so können mehrere Rohrleitungen thermisch auch an separate Kaltköpfe oder an auf verschiedenen Temperaturniveaus liegende Stufen einer Kälteeinheit angekoppelt sein. Bei zweistufigen Kälteeinheiten bzw. Kaltköpfen, wie sie insbesondere zur Kühlung von thermischen Schilden eingeplant werden, würde man zu einer schnelleren Vorkühlung mit einer weiteren Thermosyphon-Rohrleitung, die beispielsweise mit N_2 oder Ar gefüllt ist, die Magnetwicklungen - neben der thermischen Anbindung an die zweite Stufe - auch an die erste (wärmere) Stufe ankoppeln.

Selbstverständlich ist die vorbeschriebene Thermosyphon-Kühlung auch für Magnete anwendbar, die vertikal angeordnete Wicklungen aufweisen. Ein Ausführungsbeispiel einer Einrichtung nach der Erfindung mit entsprechenden Wicklungen ist in Figur 2 angedeutet. Die allgemein mit 12 bezeichneten Einrichtung enthält einen solenoidförmigen Supraleitungsmagneten 13, der z.B. vier in Achsrichtung hintereinander liegende supraleitende Wicklungen 14j (mit $j = 1...4$) aufweist. Die einzelnen Wicklungen werden dabei z.B. jeweils an beiden Stirnseiten über zumindest im wesentlichen vertikal verlaufende Rohrleitungen 15i (mit $i = 1...8$) gekühlt, die z. B. mit einem Kältemittel k_1 gefüllt sind. Hier kann also auf eine Spiralform wie im Falle des Ausführungsbeispiels nach Figur 1 verzichtet werden und der Gefällewinkel α beträgt in großen Teilen des allgemein mit 20 bezeichneten Leitungssystems etwa 90° . Eine Kondensorkammer 18 und ein Kaltkopf werden im Allgemeinen oberhalb der Wicklungen angeordnet, um so das erforderliche Gefälle zu gewährleisten. Pro Wicklung ist mindestens eine Rohrleitung 15i erforderlich, da im Gegensatz zu horizontal angeordneten Wicklungen nicht eine Rohrleitung alle Wicklungen unter Beibehaltung des Gefälles erreichen kann.

Um sicherzustellen, dass jede Rohrleitung 15i genügend rekondensiertes Kältemittel k_1 erhält, muss das gesamte, aus den Rohrleitungen 15i gebildete Rohrleitungssystem 20 entweder
5 als ein System kommunizierender Röhren ausgeführt sei und im Bereich der Wicklungen 14j komplett mit dem flüssigen Kältemittel geflutet sein. Dies ist in der Figur 2 durch eine schwärzere Einfärbung des Kältemittels k_1 angedeutet, während das verdampfte Kältemittel heller eingefärbt und mit k_1' be-
10 zeichnet ist. Oder aber jede Rohrleitung 15i muss eine separate Kondensor(teil)kammer an dem Kaltkopf erhalten.

Selbstverständlich kann für die in Figur 2 angedeutete Ausführungsform einer Einrichtung 12 nach der Erfindung auch ein
15 Leitungssystem mit parallel verlaufenden, mit unterschiedlichen Kältemitteln (k_1 bzw. k_2) gefüllten Rohrleitungen vorgesehen werden.

Abweichend von den dargestellten Ausführungsbeispielen kann
20 eine erfindungsgemäße Einrichtung der Supraleitungstechnik ein Leitungssystem mit mindestens einer Rohrleitung aufweisen, in der auch in Gemisch aus zwei Kältemitteln mit unterschiedlichen Kondensationstemperaturen vorhanden ist. Dann kann folglich bei einer allmählichen Abkühlung zunächst das
25 Gas mit der höchsten Kondensationstemperatur kondensieren und einen geschlossenen Kreislauf zur Wärmeübertragung an eine zu kühlende Wicklung ausbilden. Nach einer Vorkühlung dieser Wicklung bis zur Tripelpunkttemperatur dieses Gases wird dieses dann im Bereich der Kondensorkammer ausfrieren, worauf
30 die andere Gasgemischkomponente mit der niedrigeren Kondensationstemperatur die weitere Abkühlung auf die Betriebstemperatur gewährleistet.

In der Praxis kommen als Kältemittel je nach gewünschter Arbeitstemperatur die Gase He, H_2 , Ne, O_2 , N_2 , Ar sowie verschiedene Kohlenwasserstoffe in Frage. Die Auswahl des jeweiligen Kaltgases erfolgt so, dass bei der vorgesehenen Be-

triebstemperatur das Kältemittel gleichzeitig gasförmig und flüssig vorliegt. Auf diese Weise ist eine Zirkulation unter Ausnutzung eines Thermosyphon-Effektes zu gewährleisten. Zur gezielten Einstellung der Füllmenge bei gleichzeitiger Begrenzung des Systemdrucks können warme und/oder kalte Ausgleichsbehälter an dem Leitungssystem vorgesehen werden.

Selbstverständlich hängt die Wahl des Kältemittels auch von dem verwendeten Supraleitermaterial ab. Wird ein LTS-Material wie Nb_3Sn vorgesehen, kommt nur He als Kältemittel in Frage.

Patentansprüche

1. Einrichtung der Supraleitungstechnik

- mit einem Magneten, der mindestens eine supraleitfähige, kältemittelfreie Wicklung enthält,
- mit einer Kälteeinheit, die mindestens einen Kaltkopf aufweist,

und

- mit Mitteln zur thermischen Ankopplung der mindestens einen Wicklung an den mindestens einen Kaltkopf, dadurch gekennzeichnet, dass die thermischen Ankopplungsmittel als ein Leitungssystem (10) mit wenigstens einer Rohrleitung (10a, 10b; 15i) für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel (k1, k1'; k2) ausgebildet sind.

2. Einrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass das Leitungssystem (10) zwei Rohrleitungen (10a, 10b) aufweist, die mit verschiedenen Kältemitteln (k1 bzw. k2) mit unterschiedlichen Kondensations-temperaturen gefüllt sind.

3. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohrleitungen (10a, 10b) an einen gemeinsamen Kaltkopf (6) thermisch angekoppelt sind.

4. Einrichtung nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass die Rohrleitungen an getrennte Kaltköpfe thermisch angekoppelt sind.

5. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass zumindest Teile der mindestens einen Rohrleitung (10a, 10b) ein Gefälle gegenüber der Horizontalen (h) von mehr als 0,5°, vorzugsweise mehr als 1°, aufweisen.

12

6. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der Querschnitt (q) der das Kältemittel (k1, k1', k2) führenden zumindest einen Rohrleitung (10a, 10b) unter 10 cm² liegt.

5

7. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass die supraleitende Wicklung (4a, 4b; 14j) Hoch-T_c-Supraleitermaterial enthält.

10

8. Einrichtung nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass das Supraleitermaterial auf einer Temperatur unter 77 K zu halten ist.

15

9. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass als Kältemittel (k1 bzw. k2) ein Gemisch aus mehreren Kältemittelkomponenten mit unterschiedlichen Kondensationstemperaturen vorgesehen ist.

20

10. Einrichtung nach einem der vorangehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, dass der supraleitende Magnet (3, 13) Teil einer MRI-Anlage ist.

Zusammenfassung

Einrichtung der Supraleitungstechnik mit einem supraleitenden Magneten und einer Kälteeinheit

5

Die Einrichtung (2) enthält einen supraleitenden Magneten (3) mit mindestens einer kältemittelfreien supraleitenden Wicklung (4a, 4b) und eine Kälteeinheit mit mindestens einem Kaltkopf (6). Zur thermischen Ankopplung der Wicklung (4a,

10

4b) an den Kaltkopf (6) dient ein Leitungssystem (10) mit wenigstens einer Rohrleitung (10a, 10b) für ein darin nach einem Thermosyphon-Effekt zirkulierendes Kältemittel (k1, k2).

FIG 1

1/2

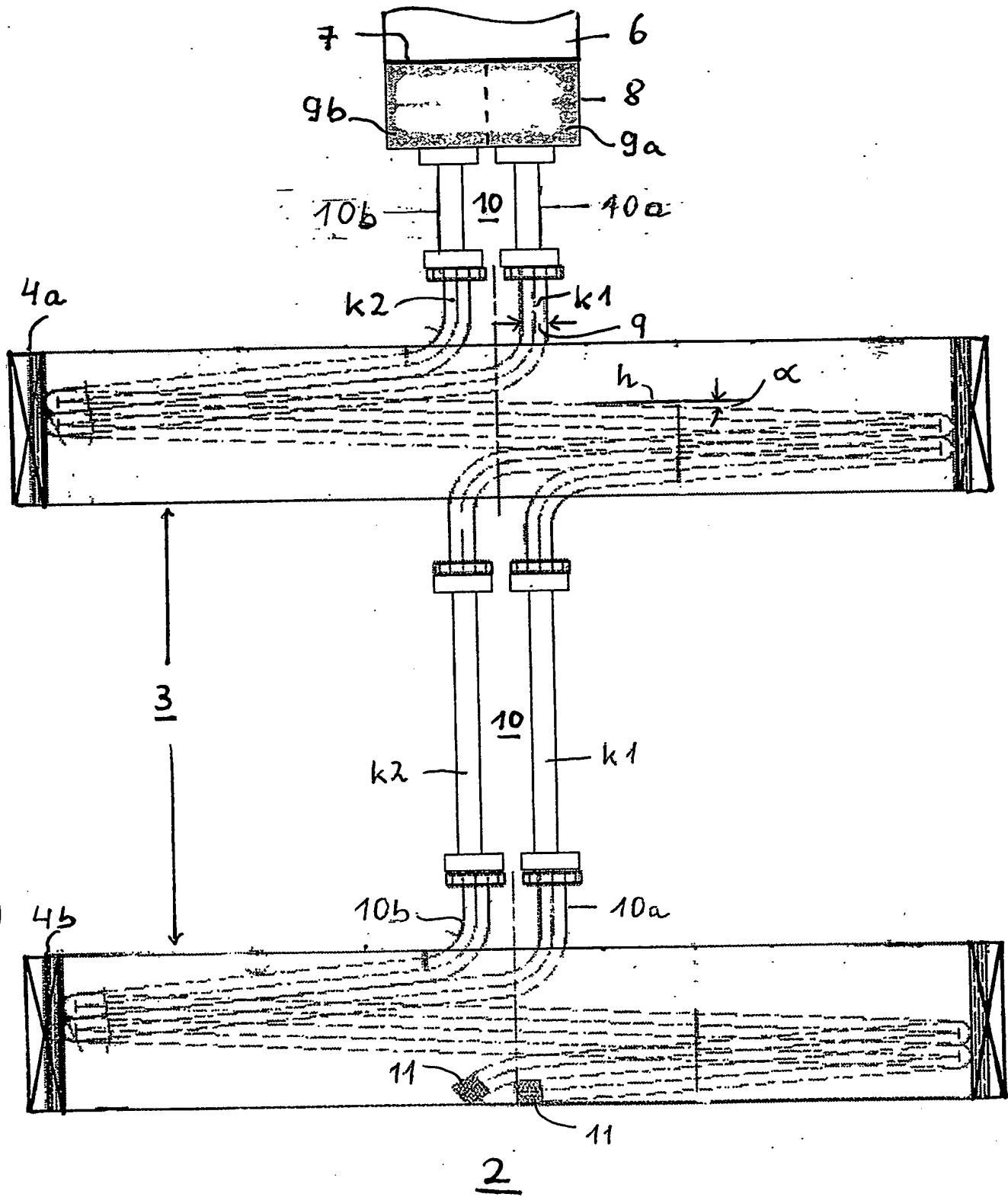


FIG 1

2/2

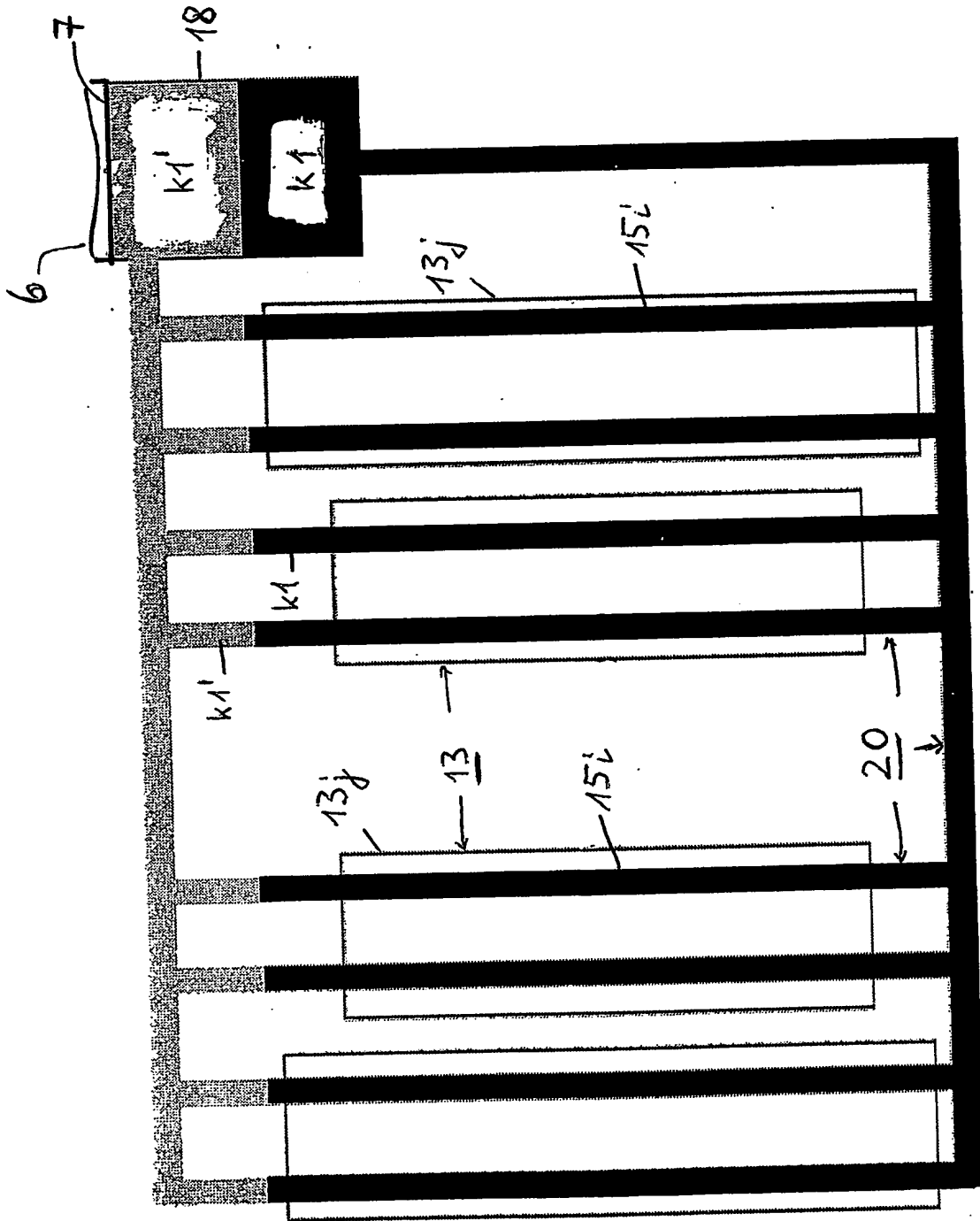


FIG 2

Best Available Copy